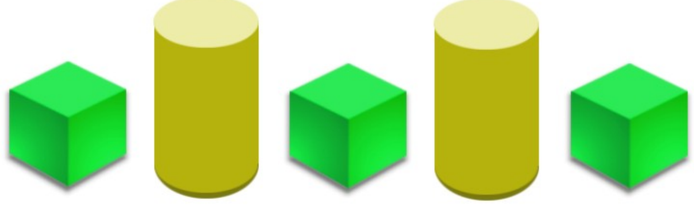
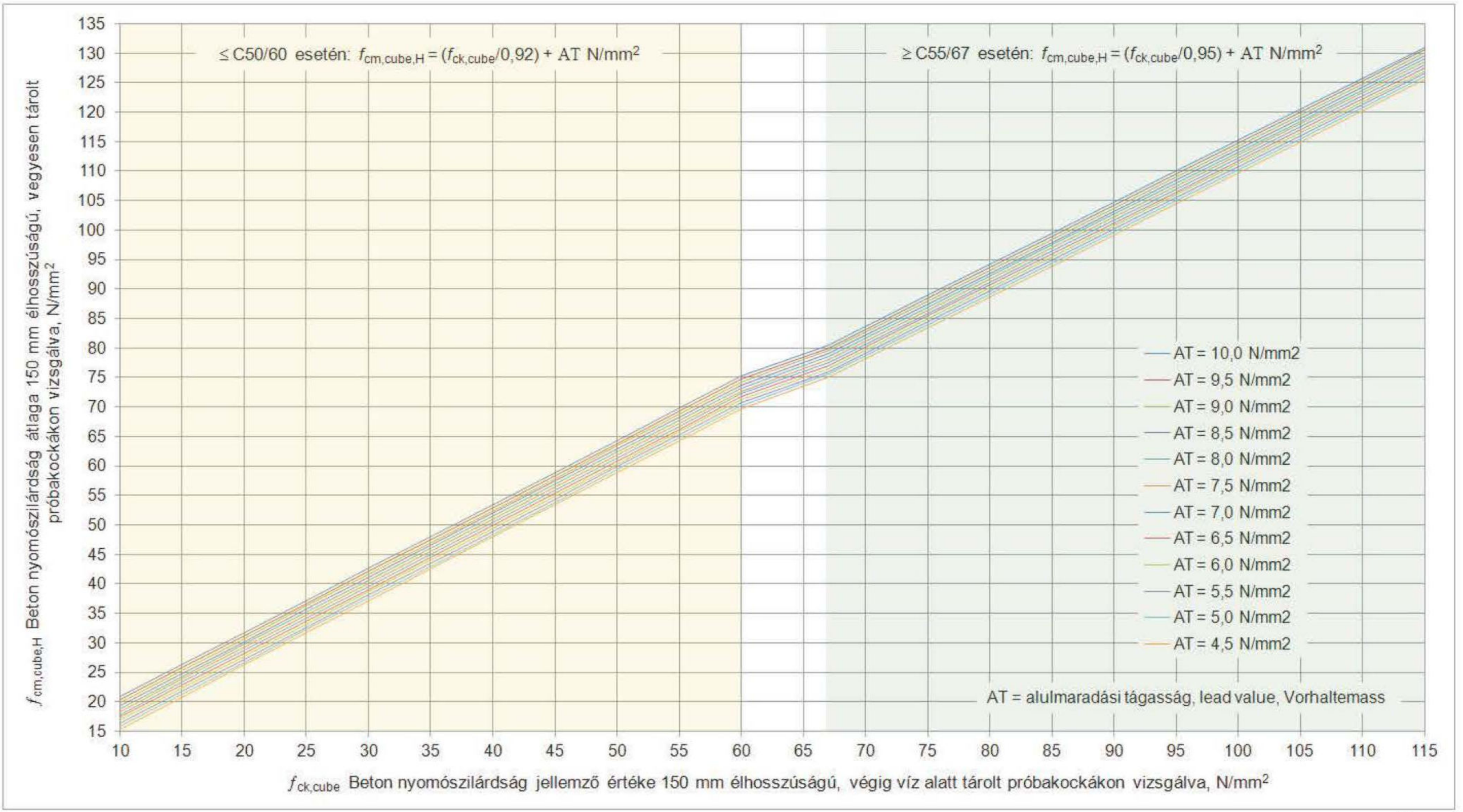
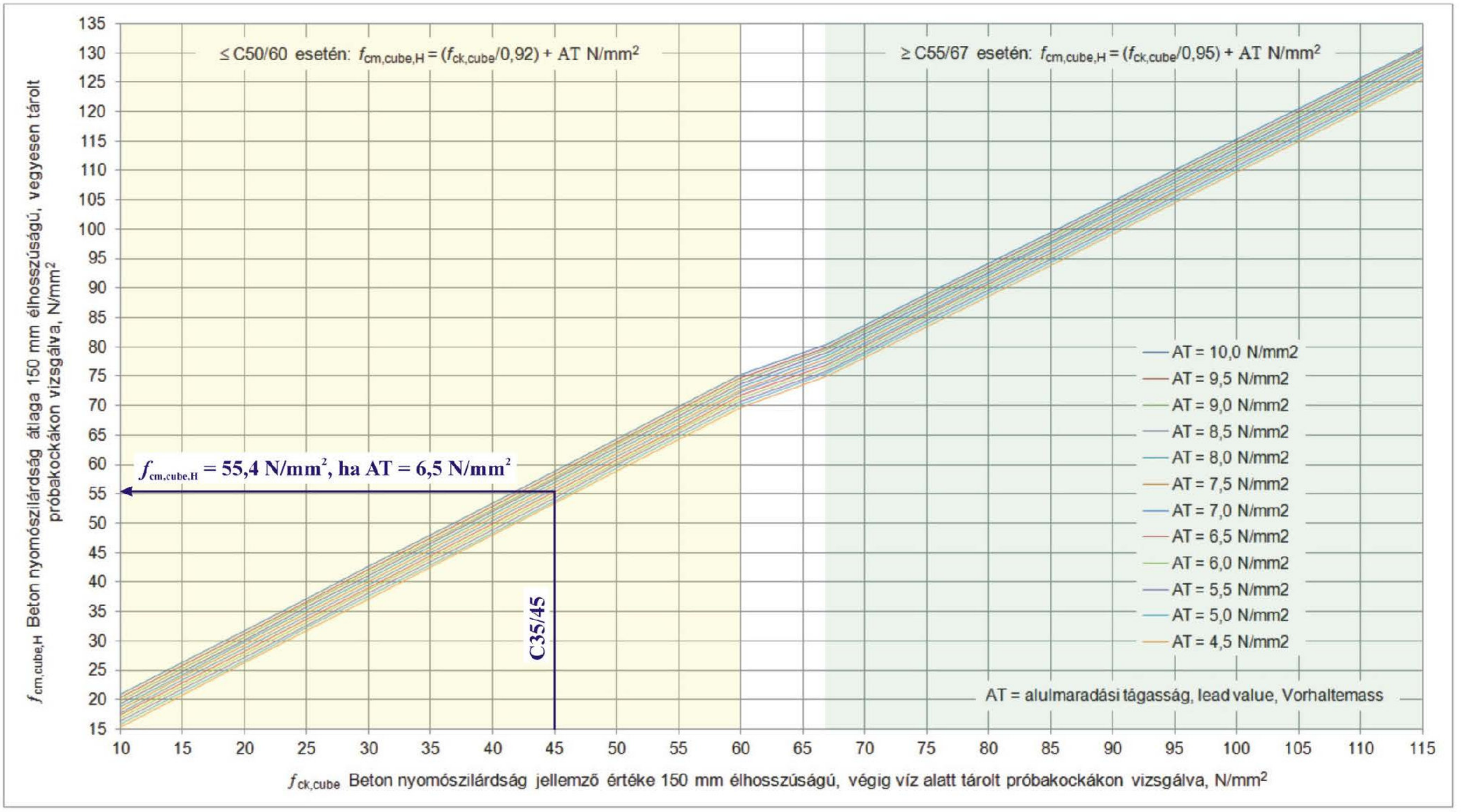
Betontervezés témaköre
Beton jellemző értékének és víz-cement tényezőjének kapcsolata, ha a nyomószilárdságot 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon határozzák meg *(2016. március)*
Kavicsbeton tervezés *(2003. április)*
Számpélda a betontervezésre. 3. példa *(2000. november)*
Számpélda a betontervezésre, különös tekintettel a környezeti osztályra. 5. példa *(2002. november)*
Zúzottkőbeton és bontott betontörmelék adalékanyagú beton tervezése *(2003. április)*



**Összefüggés a beton jellemző értéke és a víz-cement tényező között,
ha a nyomószilárdságot 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon határozzák meg**



Kausay



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{Taerw}-tényező vagy $t_{Stucent}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Kausay

Forrás: Ujhelyi (2005)

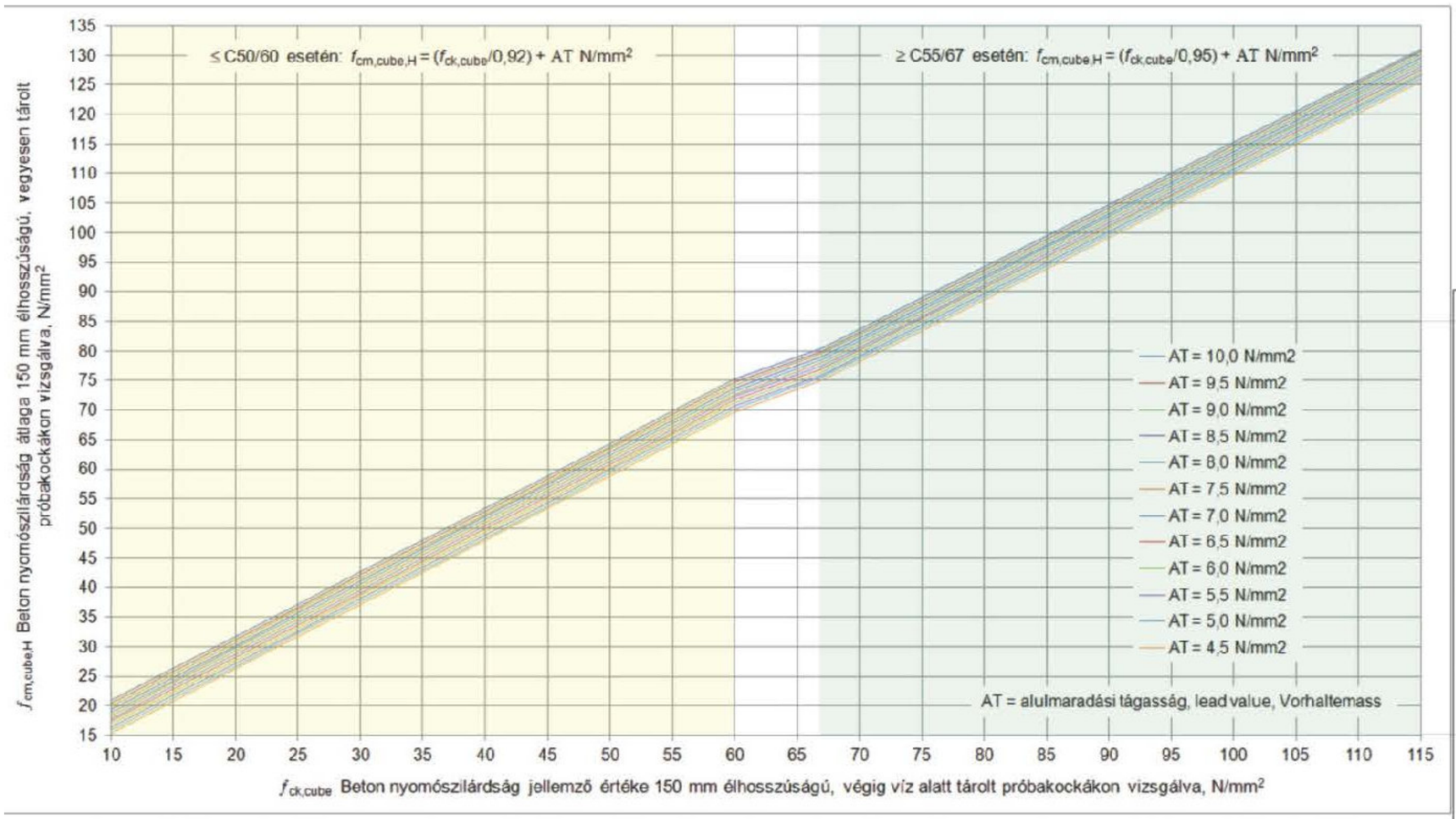
$f_{cm,cube,H}$ 28 napos, vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú próbakockák átlagos nyomószilárdsága, N/mm²

85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10

CEM 52,5 tartomány
CEM 42,5 tartomány
CEM 32,5 tartomány

0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60 0,65 0,70 0,75 0,80 0,85

x Víz-cement tényező



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{-Taerw}-tényező vagy $t_{Student}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Dr. Ujhelyi János $f_{cm,cube,H}$ - *x* összefüggéseinek függvényalakja a következő

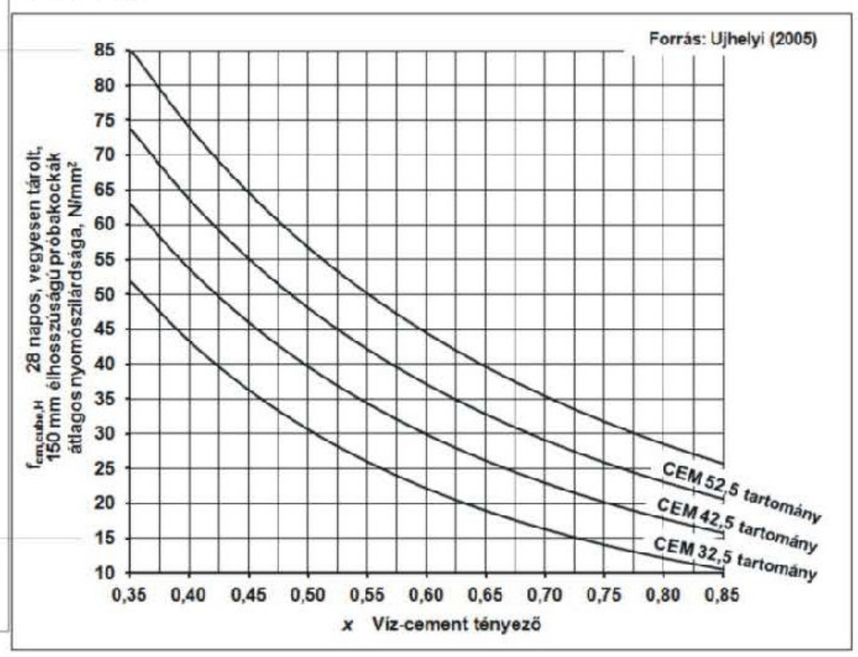
$$f_{cm,cube,H} = 469 \times e^{(-3,2 \times x^{0,6})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 406 \times e^{(-3,3 \times x^{0,63})}$$

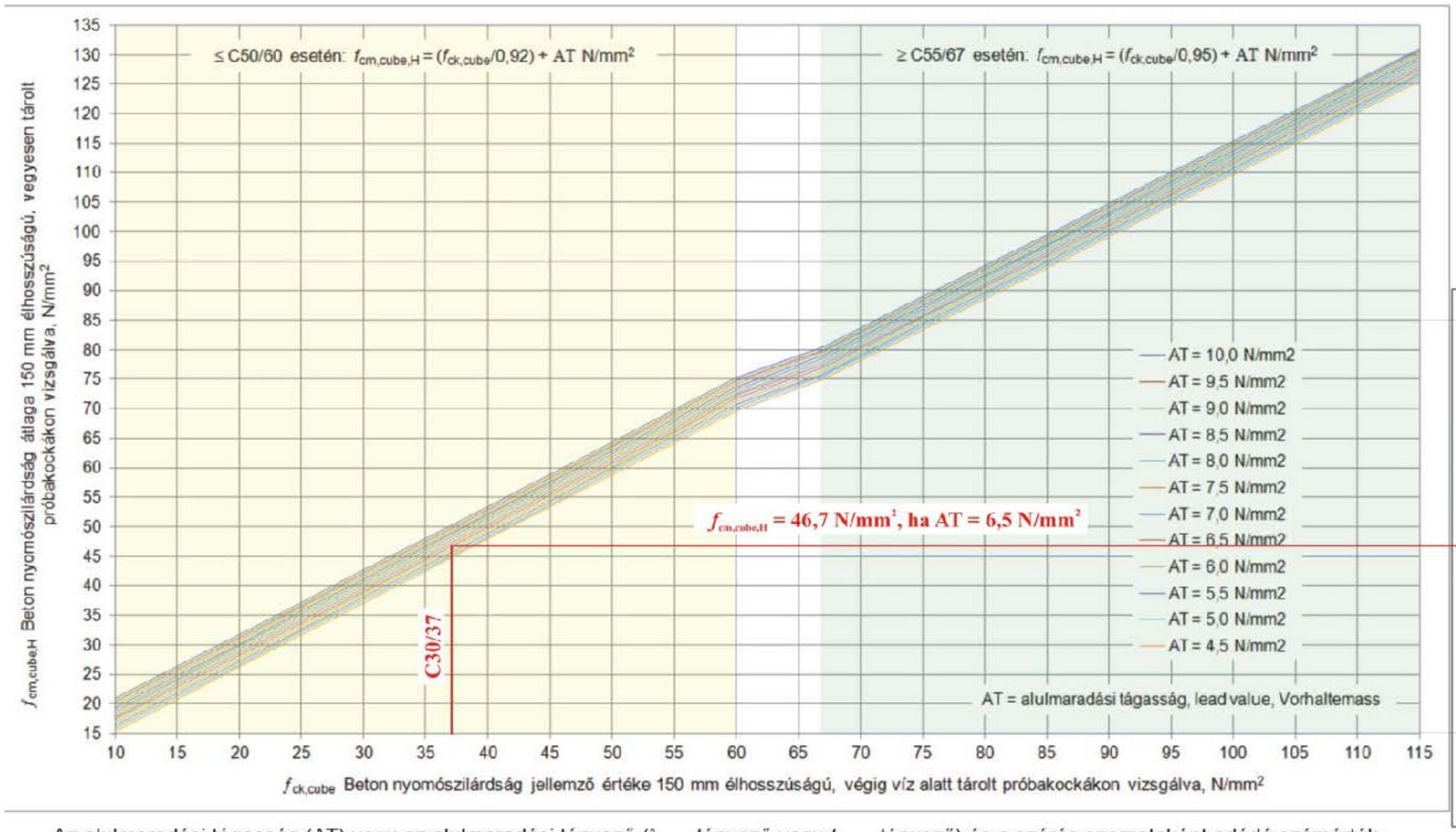
$$f_{cm,cube,H} = 374 \times e^{(-3,52 \times x^{0,65})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 356 \times e^{(-3,93 \times x^{0,68})}$$

Az összefüggések forrása:
Ujhelyi János: Beton-ismeretek.
Egyetemi tankönyv.
Műegyetemi Kiadó.
Budapest, 2005. / 43. ábra



Kausay



Az alulmaradási tágasság (AT) vagy az alulmaradási tényező (λ_{-Taerw}-tényező vagy $t_{Student}$-tényező) és a szórás szorzataként adódó számérték, vagy az előírt konstans szám, más szóval az alulmaradási tágasság a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbsége.

Dr. Ujhelyi János $f_{cm,cube,H}$ - *x* összefüggéseinek függvényalakja a következő

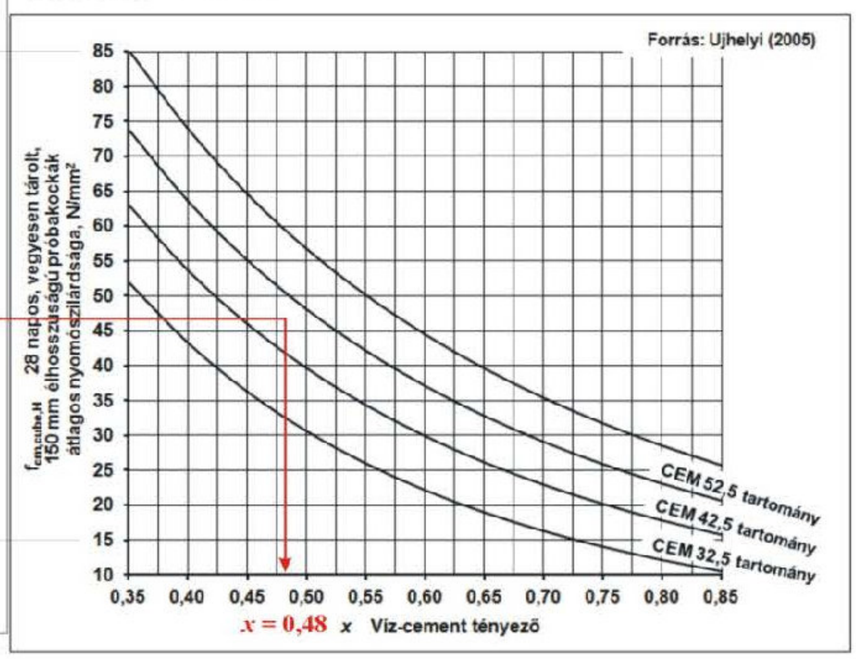
$$f_{cm,cube,H} = 469 \times e^{(-3,2 \times x^{0,6})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 406 \times e^{(-3,3 \times x^{0,63})}$$

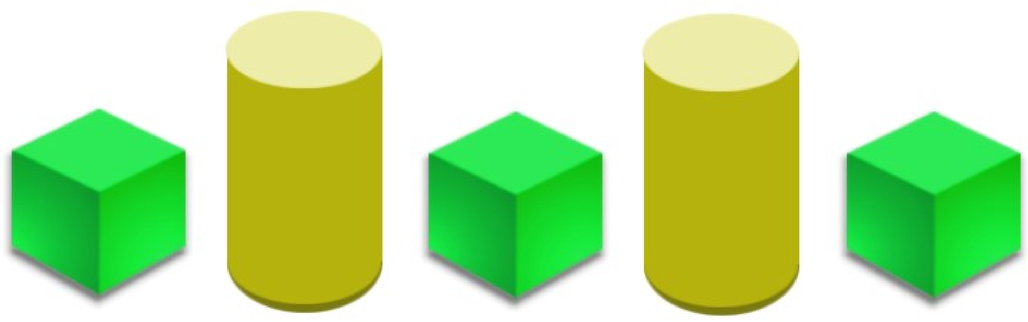
$$f_{cm,cube,H} = 374 \times e^{(-3,52 \times x^{0,65})}$$

$$f_{cm,cube,H} = 356 \times e^{(-3,93 \times x^{0,68})}$$

Az összefüggések forrása:
Ujhelyi János: Beton-ismeretek.
Egyetemi tankönyv.
Műegyetemi Kiadó.
Budapest, 2005. / 43. ábra



Kausay



Homokos kavics adalékanyagú beton (kavicsbeton) tervezése a Bolomey-Palotás féle képletek alapján, az MSZ EN 206-1:2002 szabvány követelményeinek figyelembevételével

MEGJEGYZÉS: A hivatkozott MSZ EN 206-1 szabványt 2002. évben (MSZ EN 206-1:2002), és annak MSZ 4798-1 jelzetű nemzeti alkalmazási dokumentumát 2004. évben (MSZ 4798-1:2004) emelték érvényre.

1. A megtervezendő beton MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerinti nyomószilárdsági osztályának megfelelő, végig vízben tárolt, vizesen vizsgált, 150 mm méretű próbakockán, 28 napos korban értelmezett $R_k=R_{k15,nom}(=) f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ nyomószilárdsági minősítési értékéből fel kell venni a megtervezendő beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti, vegyesen tárolt, 200 mm méretű próbakockán értelmezett, 28 napos nyomószilárdságának névleges $R_{m200, nom}$ átlag értékét, amely a Bolomey-Palotás-féle betontervezés alapadata. Ehhez két módszer is ajánlható:

1.1. Vagy felvesszük az MSZ 4720-2:1980 szabvány szerint a "t" Student tényező és az "s" szórás értékét, és az (1.1) összefüggés alkalmazásával kiszámítjuk az $R_{m200, nom}$ névleges átlagértéket:

$$R_{m200,nom} = 1{,}087 * 0{,}94 * R_{m150,nom} =$$

$$= 1{,}02178 * \left\{ 0{,}25 * \left[0{,}1027 * t * s + \sqrt{(0{,}1027 * t * s)^2 + 2{,}16 * t * s + 4 * R_{k150,nom}} \right]^2 \right\} =$$

$$= 0{,}255445 * \left[0{,}1027 * t * s + \sqrt{(0{,}1027 * t * s)^2 + 2{,}16 * t * s + 4 * R_{k150,nom}} \right]^2 \qquad (1.1)$$

Itt 1,087= $R_{m, vegyesen}/ R_{m, víz alatt}$, azaz 1,087 az ugyanolyan méretű vegyesen és víz alatt tárolt próbakockák nyomószilárdságának hányadosa, és 0,94=$R_{m200/Rm150}$, azaz 0,94 az ugyanolyan utókezelésű 200 mm és 150 mm méretű próbakockák nyomószilárdságának hányadosa.

1.2. Vagy a következő átszámítási táblázat alapján felvesszük a megtervezendő beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti, vegyesen tárolt, 200 mm méretű próbakockán értelmezett, 28 napos nyomószilárdságának névleges $R_{m200, nom}$ átlag értékét:

$$R_k=R_{k15, nom}=f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \rightarrow R_{m200, nom} \qquad (1.2)$$

A beton nyomószilárdsági osztálya víz alatti tárolás esetén az MSZ EN 206-1:2002 szerint C $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$	A beton - a nyomószilárdsági osztálynak megfelelő, - átlagos nyomószilárdságának 200 mm méretű próbakockán értelmezett névleges tervezési értéke a Bolomey-Palotás-féle tervezési módszer esetén $R_{m200,\ nom}$ N/mm^2
(C4/5, nem szabványos)	(8)
C8/10	14
C12/15	20
C16/20	26
C20/25	32
C25/30	38
C30/37	46 **47***
C35/45	55 **57***
C40/50	61 **64***
Megjegyzés:	Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD N2. táblázatának tárgyalása során a pirossal írt értékeket fogadták el.

(A táblázat értékeinek magyarázata "A normál és nehéz betonok nyomószilárdsági osztályai, küszöb és átlag értékei" című dolgozatban található.)

Eszerint a tervezett beton akkor fogja az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerinti C $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ nyomószilárdsági osztályt elérni, ha összetételének tervezése során a víz-cementtényezőt úgy számítjuk ki, hogy a Bolomey-Palotás-féle $x=f(R_{m200})$ összefüggésbe az R_{m200} helyébe vagy az (1.1) szerint kiszámított, vagy az (1.2) alatti táblázatból vett $R_{m200,\ nom}$ értéket helyettesítjük.

2. A megtervezendő beton x víz-cementtényezőjét a 200 mm méretű próbakockán értelmezett, (1.3) alatti névleges tervezési $R_{m200,\ nom}$ átlagos nyomószilárdságból számítjuk ki:

$$x = \frac{1}{\frac{R_{m200,\ nom}}{A} + 0{,}3} \qquad (2)$$

ahol "A" a cement minőségének függvénye:

Cementminőség		A
MSZ EN 197-1:2000	**MSZ 4702-2:1974**	
CEM 52,5	C 550	27,5
CEM 42,5	C 450	22,0
CEM 32,5	C 350	17,0
	C 250	12,5

3. Következő lépés az x_0 redukált víz-cementtényező kiszámítása:

$$x_0 = \frac{x}{h * h_0 * h_1} \qquad (3)$$

ahol a h, h_0, h_1 osztók értéke a konzisztencia, a cement minősége és az adalékanyag legnagyobb szemnagysága függvényében a következő:

Konzisztencia	h	Cement-minőség	h_0	d_{max} [mm]	h_1
Alig földnedves	0,85	CEM 52,5	0,98	8	1,07
Földnedves	1,00	CEM 42,5	1,00	12	1,04
Kissé képlékeny	1,15	CEM 32,5	1,04	16	1,01
Képlékeny	1,25	C 250	1,07	24	1,00
Folyós	1,35			32	0,98
Önthető	1,45			63	0,96

4. Keressük meg a c cement mennyiség és a homokos kavics adalékanyag m finomsági modulusa összetartozó értékeit a következő összefüggésből:

$$x_0 = 0{,}1 + \frac{23}{c} * (11 - m) \qquad (4)$$

A (4) összefüggést rendezzük annak megfelelően, hogy a feladatot melyik adat felvételével kívánjuk megoldani:

- Ha a c cement mennyiségből indulunk ki, és azt tekintjük független változónak, akkor:

$$m = 11 - (x_0 - 0{,}1) * \frac{c}{23} \qquad (5)$$

- Ha a homokos kavics adalékanyag m finomsági modulusából indulunk ki, és azt tekintjük független változónak, akkor:

$$c = \frac{23}{x_0 - 0{,}1} * (11 - m) \qquad (6)$$

A c - m értékpár nem vehet fel tetszőleges értéket, mert kell, hogy a következő korlátozó feltételek is teljesüljenek:

$$m_0 = 2{,}66 * \lg d_{max} + 2{,}2 + 0{,}0028 * c \qquad (7)$$

$$\text{és} \qquad 0{,}89 * m_0 \leq m \leq 1{,}07 * m_0 \qquad (8)$$

Az összetartozó és megfelelő c - m értékpár próbálgatással található meg. Értéke akkor a legkedvezőbb, ha a c cement mennyiség minimális, illetve, ha az m finomsági modulus maximális nagyságú.

Ennek a (7) és (8) összefüggéseken kívül további korlátjai is vannak:

1. Egyrészt az MSZ EN 206-1:2002 NAD (2004) európai szabvány és nemzeti alkalmazási dokumentum (MSZ 4798-1:2004) a szerkezet környezeti és különleges igénybevételi hatásainak függvényében megadja a tervezendő beton megengedett legnagyobb víz-cementtényezőjének értékét, az adagolandó cement mennyiség megkövetelt legkisebb értékét és a beton alkalmazandó legkisebb nyomószilárdsági osztályának jelét. Ezeket a feltételeket összefoglaló táblázatot erre a mondatra kattintva olvashatja el.
2. Másrészt a tervezett adalékanyag szemmegoszlási görbéjének az MSZ EN 206- 1:2002 NAD (2004) európai szabvány és nemzeti alkalmazási dokumentum (MSZ 4798-1:2004) szerinti szemmegoszlási határgörbék között kell elhelyezkednie. Következésképpen az m finomsági modulusnak
   207- osztályú szemmegoszlás esetén az A és a B határgörbék finomsági modulusa, II. osztályú szemmegoszlás esetén a B és a C határgörbék finomsági modulusa közé kell esnie. Ebben a tekintetben bizonyos könnyítést jelent az MSZ EN 12620:2002 beton-adalékanyag termék

szabvány szemmegoszlási követelményeinek figyelembevétele. A szemmegoszlási határgörbéket, illetve határértékeket és a határgörbék finomsági modulusainak értékeit erre a mondatra kattintva tekintheti meg.

5. Biztosan megfelelő, próbálgatás nélkül kiszámítható c_{min} legkisebb, $c_{közepes}$ közepes, c_{max} legnagyobb c cement mennyiség nyerhető akkor, ha feltételezzük, hogy

$$m = 1{,}07 * m_0 \quad vagy \quad m = m_0 \quad vagy \quad m = 0{,}89 * m_0 \qquad (9)$$

Ezeket a feltételeket rendre behelyettesítve az (5) összefüggés bal oldalába, egyidejűleg a jobb oldali c helyébe rendre c_{min}-ot, $c_{közepes}$-t, illetve c_{max}-ot írva, m_0-ra kapunk összefüggéseket. Ezen összefüggések jobb oldalát egyenlővé téve a (7) összefüggés jobb oldalával, azokból az m_0 kiejthető. Ezután ezekből kifejezve a megfelelő c cement mennyiséget, rendre azt kapjuk, hogy:

$$c_{min} = \frac{198{,}858 - 65{,}4626 * \lg d_{max}}{x_0 - 0{,}031092} \qquad (10.1)$$

$$c_{közepes} = \frac{202{,}4 - 61{,}18 * \lg d_{max}}{x_0 - 0{,}0356} \qquad (10.2)$$

$$c_{max} = \frac{207{,}966 - 54{,}4502 * \lg d_{max}}{x_0 - 0{,}042684} \qquad (10.3)$$

A (10.1), (10.2), (10.3) összefüggések jobb oldalán csak ismert mennyiségek állnak, ezért azok bármelyikéből az éppen keresett c cement mennyiség minden nehézség, próbálgatás nélkül kiszámítható.

6. Ezután kiszámítjuk a (10) összefüggések valamelyikének segítségével meghatározott c cement mennyiséghez tartozó m finomsági modulus értékét az (5) összefüggés felhasználásával.

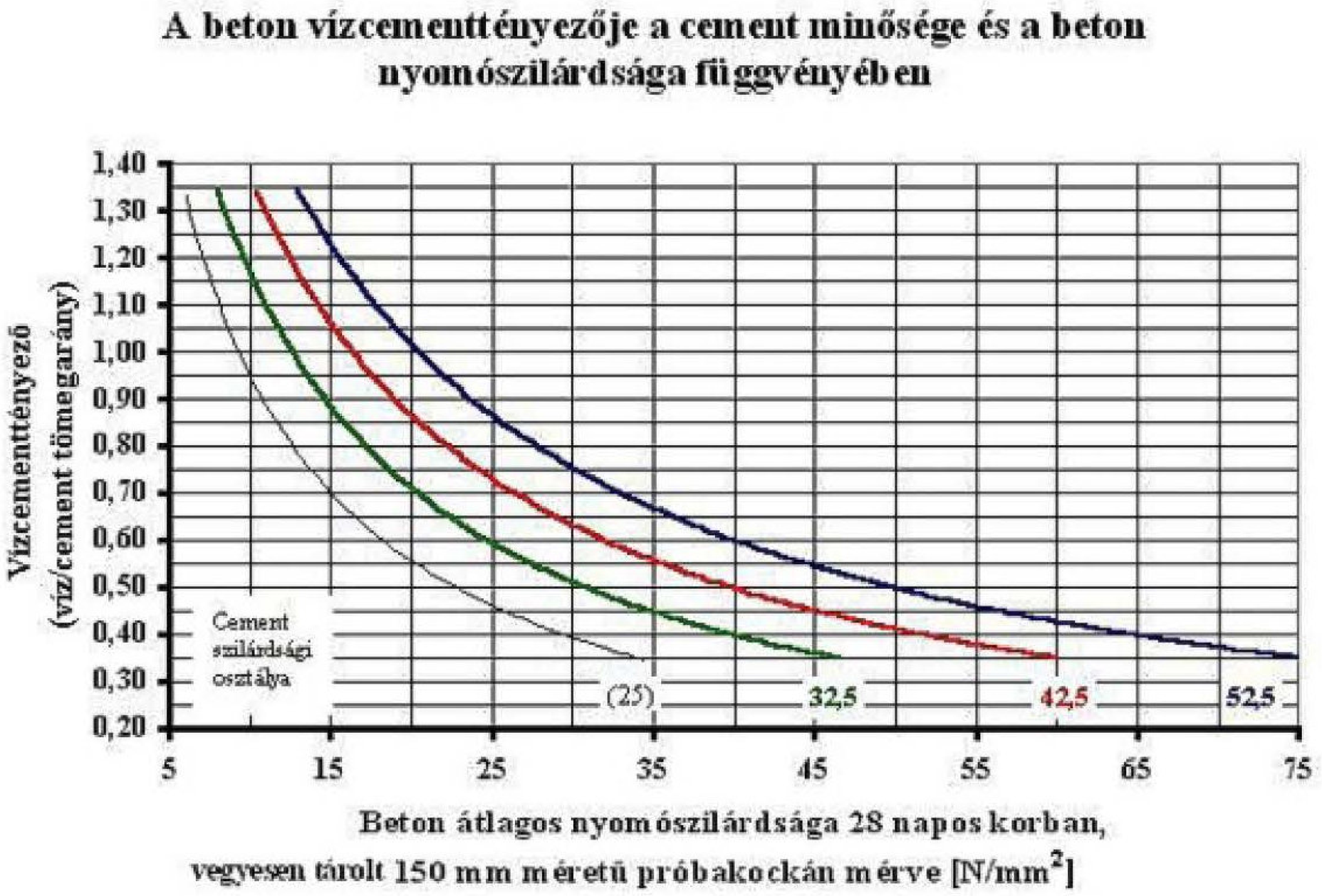
A betontervezés célja általában a megengedett legkisebb cement mennyiség, azaz a c_{min} kiszámítása, amelyhez tartozó finomsági modulus a megengedett legnagyobb, azaz az m_{max} érték lesz.

7. A kapott c_{min} - m_{max} értékpár a betontervezés végeredménye, ha a c **cement mennyiség nem kevesebb, mint a 4. pont szerint megkövetelt legkisebb cementtartalom, és a homokos kavics** adalékanyag m finomsági modulusa a megfelelő két szemeloszlási határgörbének az ugyancsak a 4. pontban megadott finomsági modulusai közé esik.

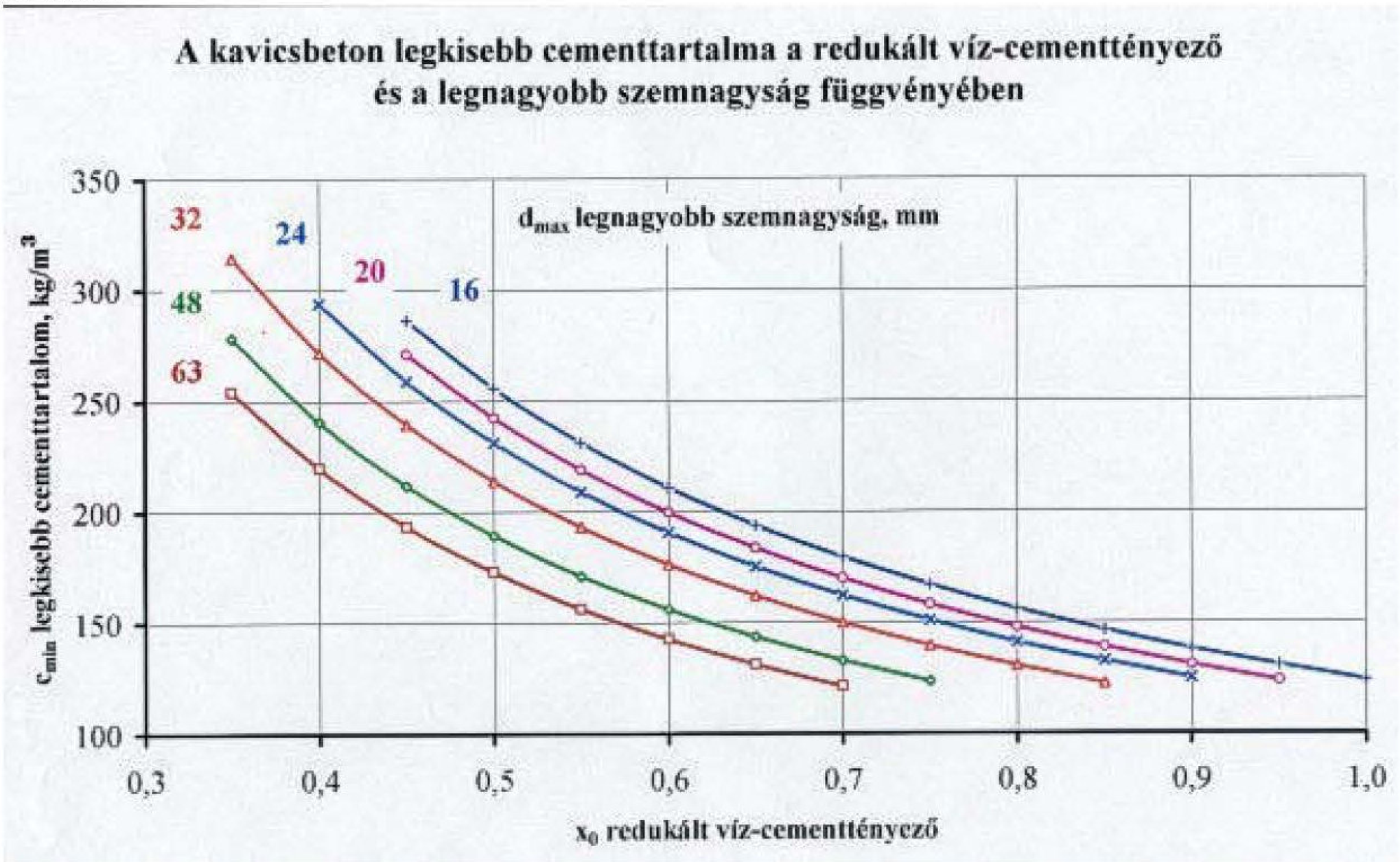
Ezeknek az ellenőrzéseknek az elmulasztása hibákra vezethet.

8. A betontervezés végeztével kiszámítjuk a betonkeverék összetételét, és próbakeverést végezve, a frissbetont és a készített próbatesteket vizsgálva ellenőrizzük a betontervezés eredményeinek gyakorlati megfelelőségét.

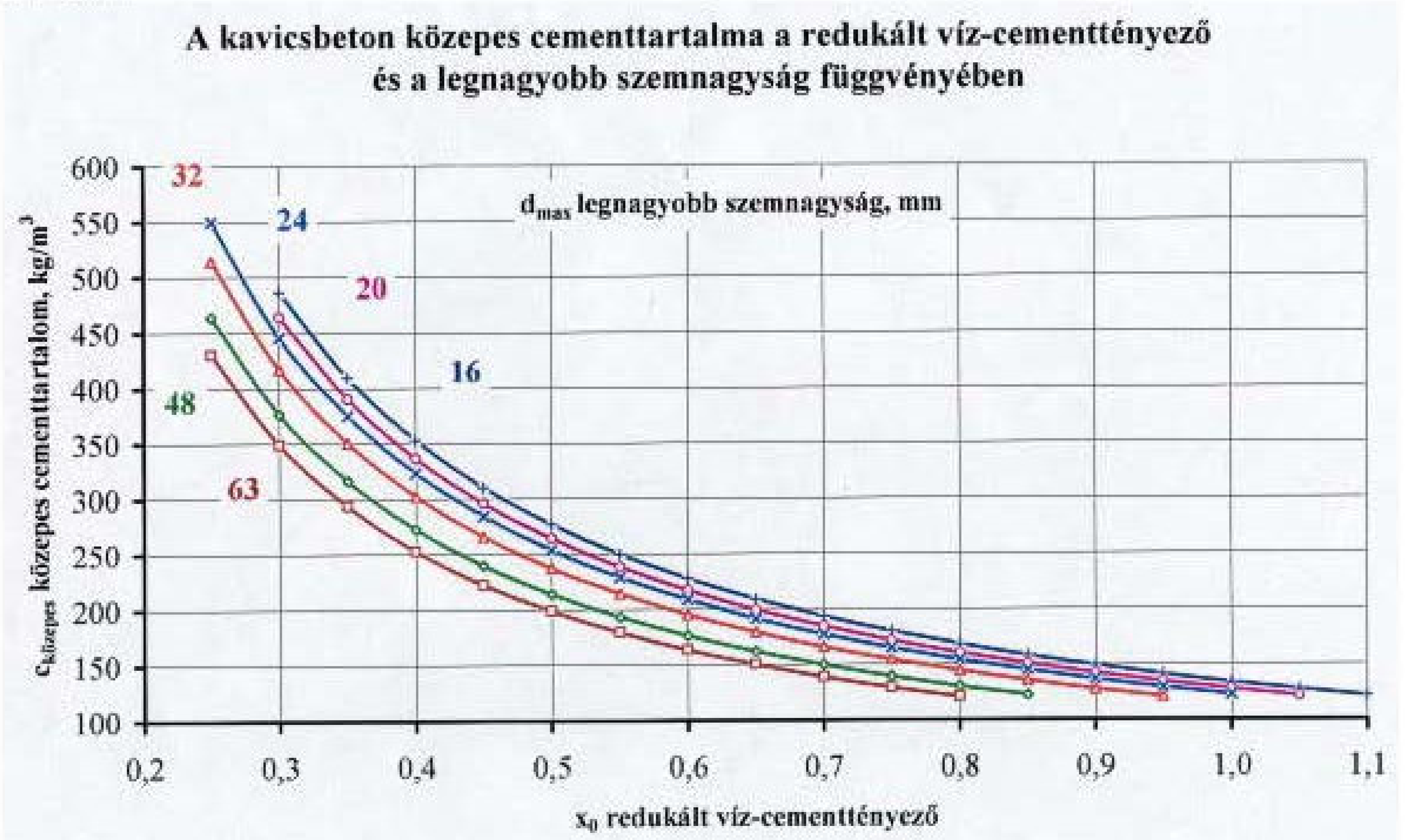
1. ábra:



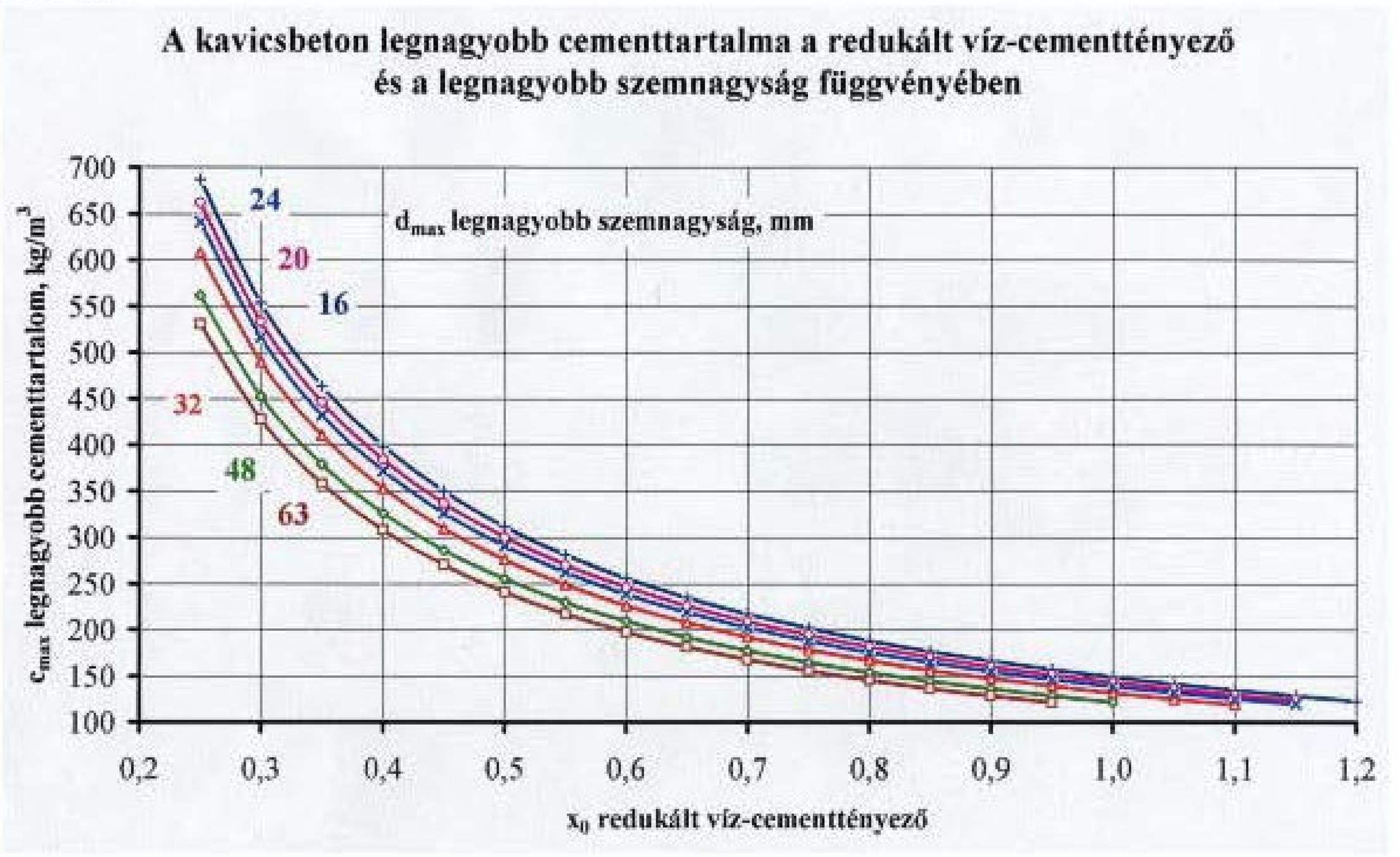
2. ábra:



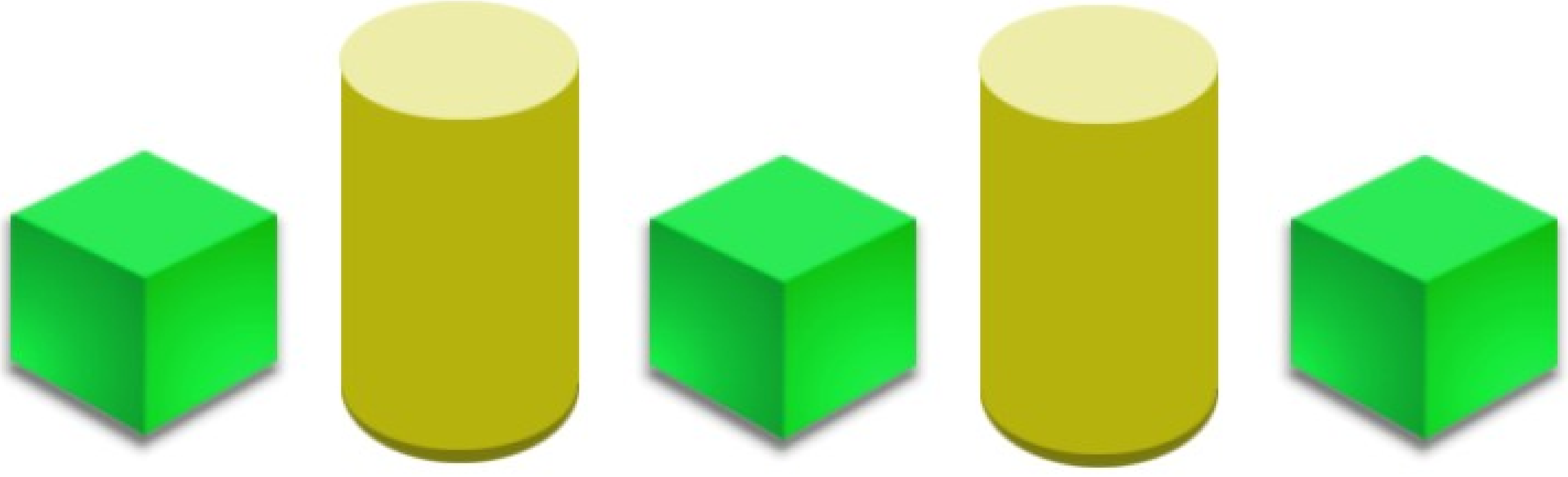
3. ábra:



4. ábra:



Készült: Budapesten, 2000. szeptember 17-én, az MSZ EN 206-1:2002 honosított európai szabvány szerinti feltételekkel kiegészítettük: 2001. december 8-án, majd 2003. március 29-én.



3. példa

Példa a betontervezésre

(A betonok 1982 és 2004 között szabványos jelétől itt tájékozódhat:)

Tervezzünk **C 30 - 24/K** jelű, időjárásnak kitett betont, ha a kiindulási tervezési adatok a következők:

A 28 napos beton nyomószilárdságának átlaga 200 mm méretű kockán: 44 N/mm^2

$R_{m,o\ 200}$=

Felhasználásra kerülő anyagok

CEM I 42,5 jelű portlandcement

0-4 mm szemnagyságú homok, amelynek víztartalma:	3,8 tömeg%
4-16 mm szemnagyságú kavics, amelynek víztartalma:	1,6 tömeg%
16-24 mm szemnagyságú kavics, amelynek vízfelszívása:	0,1 tömeg%
A friss, bedolgozatlan beton párolgási vesztesége:	0,15 tömeg%
A friss tömör beton levegőtartalma:	1,2 térfogat%
A friss beton tömörödési tényezője:	1,1
A rendelkezésre álló betonkeverőgép keverődobjának hasznos térfogata:	750 liter

Betontervezés

A hivatkozott képletek megtekinthetők, ha ide kattint:

(2) képletből: x = 0,435	mert a cement minőség folytán:	A = 22
(3) képletből: x_0 = 0,348	mert a konzisztencia folytán:	h = 1,25
	mert a cement minőség folytán:	h_0 = 1,00
	mert a legnagyobb szemnagyság folytán:	h_1 = 1,00
(10.1) képletből: c_{min}= 342,6	kg/tömör beton m^3, mert	d_{max}= 24 mm
(5) képletből: m_{max} = 7,31	ami a c_{min} értékhez tartozó *m* érték	

Ellenőrzés:

$m_{24,A}$ = 7,13 < **7,31** > 5,95 =$m_{24,B}$

tehát a finomsági modulus nem esik a határgörbék finomsági modulusai közé, ezért e szerint **nem felel meg.**

Legyen: m_{opt} = 7,13 — legnagyobb megfelelő finomsági modulus , amihez tartozó c_{opt}

(6) képletből: c_{opt} = 359,2 — kg/tömör beton m^3

Ellenőrzés:

c = 359,2 > 250 kg/tömör beton m^3, tehát a cementtartalom az időjárási feltétel szerint az I. osztályú szemmegoszlás és az adott legnagyobb szemnagyság mellett **megfelel**

(7) képletből: $m_0 = 6,88$ mert a legnagyobb szemnagyság: 24 mm

(8) képletből: $0,89 \times m_0 = 6,12$ $< 7,13 < 7,36 = 1,07 \times m_0$

tehát a finomsági modulus és cementtartalom értékpár **megfelel**

Adalékanyag összetétele

Jelen esetben könnyű dolgunk van, mert az adalékanyag finomsági modulusa – és így feltételezésünk szerint a szemmegoszlási görbéje is – egybeesik az A_{24} szemmegoszlási határgörbe hasonló jellemzőivel.

Egyéb esetekben a 4. példa szerint lehet a részhalmazok keverési arányát meghatározni.

A szemmegoszlási határgörbék megtekinthetők, ha ide kattint:

Jelen esetben tehát legyen az adalékanyag részhalmazok

keverési részaránya	$\alpha_{0-4} = 0,30$	$\beta_{4-16} = 0,48$	$\gamma_{16-24} = 0,22$
testsűrűsége	$\rho_{0-4} = 2600$	$\rho_{4-16} = 2635$	$\rho_{16-24} = 2650$ kg/m^3

Az adalékanyag keverék súlyozott testsűrűsége:

$$0,3 \times 2600 + 0,48 \times 2635 + 0,22 \times 2650 = 2627,8 \text{ kg/m}^3$$

A beton összetételének kiszámítása:

Cement, c =	359,2	kg/tömör beton m^3
Víz, v = c×x =	156,2	kg/tömör beton m^3
Adalékanyag A_{0-24}	1886,3	kg/tömör beton m^3

mert, ha:

a cement testsűrűsége: $\rho_c = 3,15$ kg/dm^3

az adalékanyag testsűrűsége: p0-24 = 2,6278 kg/dm^3

a tömör beton levegő tartalma: $V_L = 12$ liter/m^3,

akkor az 1 m^3 (=1000 liter) tömör betonnak a térfogat szerinti összetételéből, amit a következő összefüggéssel fejezünk ki:

$$V_{0-24} = 1000 - \left(\frac{359,2}{3,15} + \frac{156,2}{1,00} + 12\right) = 717,8 \ \frac{\text{liter}}{\text{tömör beton m}^3}$$

adódik, hogy az adalékanyag keverék

térfogata: $V_{0-24} = 717,8$ liter/tömör beton m^3

tömege: $A_{0-24} = V_{0-24} \times r_{0-24} = 1886,3$ kg/tömör beton m^3

Beton összetétel

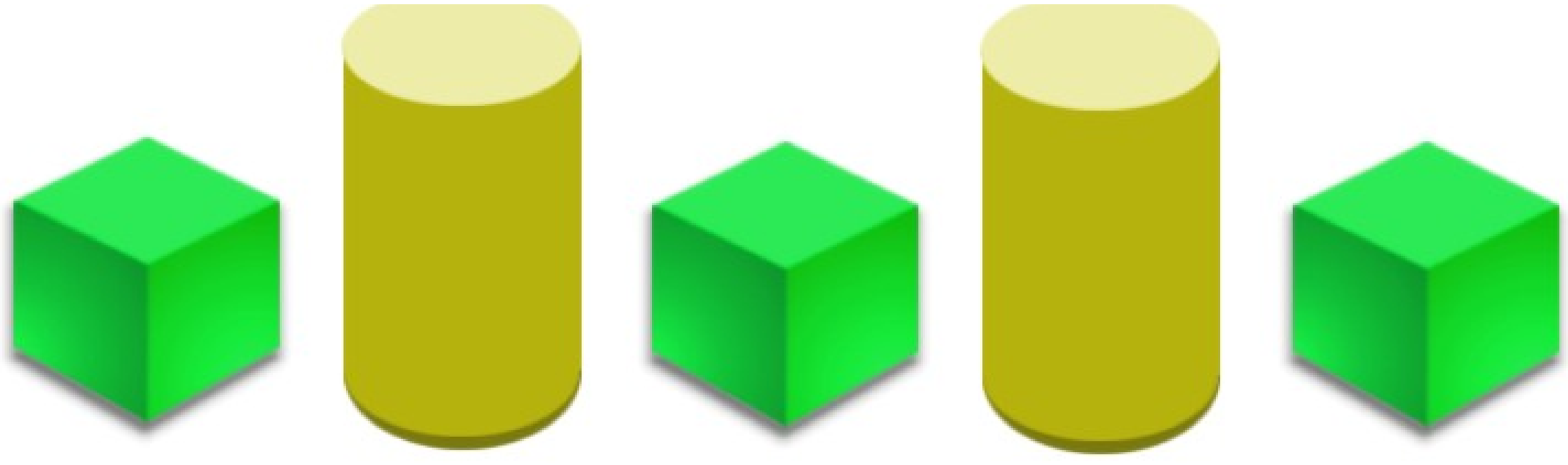
Beton összetevői	Alapkeverék	Víztartalom	Vízfelszívás	Párolgás	Korrigált keverék	Keverési adag, kg/keverék
		miatti korrekció				
	kg/tömör beton m^3					
Cement, c =	**359,2**				359,2	244,9
Víz, v =	**156,2**	**36,0**	**0,4**	**3,6**	124,2	84,7
Homok, 0-4 mm $H_{0-4} = \alpha_{0-4} \times A_{0-24}$=	**565,9**	**21,5**			587,4	400,5
Kavics, 4-16 mm $K_{4-16} = \beta_{4-16} \times A_{0-24}$=	**905,4**	**14,5**			919,9	627,2
Kavics, 16-24 mm $K_{16-24} = \gamma_{16-24} \times A_{0-24}$=	**415,0**				415,0	252,9
Friss, tömör beton testsűrűsége, kg/m^3, Σ	**2401,6**	2401,6			2405,6	
Keverődobban megkeverhető beton adag tömege, kg/keverék, Σ						1640,2

Megjegyzések:

1. A táblázatban a vízkorrekciók oszlopaiban a **zöld szám hozzáadandó** érték, a **barna szám levonandó érték**.

2. A keverési adag egyes összetevőit úgy kapjuk meg, hogy a korrigált keverék megfelelő összetevőjét elosztjuk a tömörödési tényezővel, és megszorozzuk a keverődob m3-ben kifejezett hasznos térfogatával. Esetünkben a keverési adag összetevőinek így kapott szorzótényezője:

$V_{keverődob}$/(Tömörödési tényező) = 0,75/1,1 = 0,682.



5. Példa a betontervezésre különös tekintettel a környezeti osztályra

(BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken kidolgozott típusfeladat. 2002. október)

Napjainkban egybe kell írni: C20/25

Alap adatok							
Beton jele	$R_{m\ 200}$ [N/mm^2]	Cement jele	Konzisztencia	d_{max} [mm]	$m = m_{tarv}$ fin. mod.	Frakciók fin. modulusa $m_{1,finom}$	$m_{2,durva}$
C 20/25	32	CEM 42,5	K	24	6,03	5,59	6,73

Alap adatok							
Frakciók víztart., [tömeg%]		Friss beton levegőtart., [térf.%]	Betonkeverő gép dobtérf., [liter]	Tömörítési tényező	Cement testsűrűsége, [kg/dm^3]	Finom frakció	Durva frakció
$w_{1,finom}$	$w_{2,durva}$						
4,2	1,1	1,2	1250	1,10	3,10	2,60	2,65

A betonok 1982 és 2004 közötti szabványos jeléről itt tájékozódhat:

Betontervezési gyakorló példa

„Első megoldás"

A ***Bolomey-Palotás-féle*** betontervezési módszer alkalmazásával tervezze meg a fenti betontervezési alap adatokkal jellemezett, betömörített frissbetonnak és keverési adagnak az összetételét. Mutassa be, hogy a részeredmények kielégítik a betontervezési feltételeket.

A megtervezendő beton ***x*** víz-cementtényezőjét a feladatlapon megadott, - az **MSZ EN 206-1:2002** szerinti C $f_{ck,\ cyl}/f_{ck,\ cube}$ nyomószilárdsági osztályú betonnak megfelelő - $R_{m\ 200}$ (200 mm méretű, vegyesen tárolt próbakockán értelmezett) átlagos nyomószilárdságból számítjuk ki:

$$x = \frac{1}{\frac{R_{m\ 200}}{A} + 0{,}3} = \frac{1}{\frac{32}{22} + 0{,}3} = 0{,}570$$

ahol *A* a cement minőségének függvénye:

Cementminőség		A
MSZ EN 197-1:2000	**MSZ 4702/2:1974**	
CEM 52,5	C 550	27,5
CEM 42,5	C 450	22,0
CEM 32,5	C 350	17,0

Következő lépés az x_0 redukált víz-cementtényező kiszámítása:

$$x_0 = \frac{x}{h * h_0 * h_1} = \frac{0{,}570}{1{,}25 * 1{,}00 * 1{,}00} = 0{,}456$$

ahol a h, h_0, h_1 osztók értéke a konzisztencia, a cement minősége és az adalékanyag legnagyobb szemnagysága függvényében a következő:

Konzisztencia	h	Cement minőség	h_0	d_{max} [mm]	h_1
Földnedves	1,00	CEM 52,5	0,98	12	1,04
Kissé képlékeny	1,15	CEM 42,5	1,00	16	1,01
Képlékeny	1,25	CEM 32,5	1,04	24	1,00
Folyós	1,35			32	0,98

A megadott ***m*** finomsági modulusból és az x_0 redukált víz-cementtényezőből kiszámítjuk a $c = M_c$

$$c = \frac{23}{x_0 - 0{,}1} * (11 - m) = \frac{23}{0{,}456 - 0{,}1} * (11 - 6{,}03) = \frac{23}{0{,}356} * 4{,}97 = 321{,}1 \qquad [kg / beton \;\; m^3]$$

Az m_0 ellenőrző finomsági modulus számítása:

$$m_0 = 2{,}66 * \lg d_{\max} + 2{,}2 + 0{,}0028 * c =$$

$$= 2{,}66 * \lg 24 + 2{,}2 + 0{,}0028 * 321{,}1 = 3{,}671 + 2{,}2 + 0{,}899 = 6{,}77$$

Az m finomsági modulus ellenőrzése:

$$6{,}0253 = 0{,}89 * 6{,}77 = 0{,}89 * m_0 \le m = 6{,}03 \le 1{,}07 * m_0 = 1{,}07 * 6{,}77 = 7{,}244$$

tehát az összetartozó m finomsági modulus és c cementtartalom értéke megfelel.

A beton $v = M_v$ vízadagolásának számítása az x víz-cementtényező és a c cementtartalom segítségével:

$$v = x * c = 0{,}570 * 321{,}1 = 183{,}0 \qquad [kg / m^3]$$

A homokos kavics adalékanyag frakciói részarányának számítása:

$$\alpha_{finom} = \frac{m_{2,durva} - m}{m_{2,durva} - m_{1,finom}} = \frac{6{,}73 - 6{,}03}{6{,}73 - 5{,}59} = \frac{0{,}70}{1{,}14} = 0{,}614 \qquad \text{és} \qquad \beta_{durva} = 1 - \alpha_{finom} = 0{,}386$$

A beton homokos kavics adalékanyag tartalmának V_a térfogata a finom frakció térfogatának és a durva frakció térfogatának összegéből:

$$V_a = \frac{\alpha_{finom} * M_a}{\rho_{finom}} + \frac{\beta_{durva} * M_a}{\rho_{durva}} = M_a * \left(\frac{\alpha_{finom}}{\rho_{finom}} + \frac{\beta_{durva}}{\rho_{durva}} \right) =$$

$$= M_a * \left(\frac{0{,}614}{2{,}60} + \frac{0{,}386}{2{,}65} \right) = 0{,}38181 * M_a \qquad [liter / m^3]$$

majd folytatva:

$$V_a = 0{,}38181 * M_a = 1000 - \left(\frac{c}{\rho_c} + v + V_{levegő} \right) =$$

$$= 1000 - \left(\frac{321{,}1}{3{,}1} + 183{,}0 + 12 \right) = 1000 - 298{,}6 = 701{,}4 \qquad [liter / m^3]$$

A beton adalékanyag tartalma tömegben kifejezve:

$$M_a = \frac{V_a}{\left(\frac{\alpha_{finom}}{\rho_{finom}} + \frac{\beta_{durva}}{\rho_{durva}} \right)} = \frac{701{,}4}{0{,}38181} = 701{,}4 * 2{,}6191 = 1837{,}0 \qquad [kg / m^3]$$

ahol:

$$\rho_a = \frac{1}{\left(\frac{\alpha_{finom}}{\rho_{finom}} + \frac{\beta_{durva}}{\rho_{durva}} \right)} = 2{,}619 \qquad [kg / dm^3]$$

a homokos kavics adalékanyag (keverék) testsűrűsége.

A finom frakció tartalom:

$$M_{a,\text{finom}} = \alpha_{finom} * M_a = 0{,}614 * 1837{,}0 = 1127{,}9 \qquad [kg/m^3]$$

A durva frakció tartalom:

$$M_{a,durva} = \beta_{durva} * M_a = 0{,}386 * 1837{,}0 = 709{,}1 \qquad [kg/m^3]$$

Ellenőrzés:

$$M_a = M_{a,finom} + M_{a.durva} = 1127{,}9 + 709{,}1 = 1837{,}0 \qquad [kg/m^3]$$

A beton összetételének illetve keverési arányának számítása:

A beton összetevői	A beton összetétele (alap keverék) [kg/m^3]	Adalékanyag víztartalma [kg/m^3]	Korrigált összetétel a vízkorrekció miatt [kg/m^3]	Az 1 m^3 dobtérfogatú betonkeverőben megkeverhető adag [kg/keverék]	Az 1,25 m^3 dobtérfogatú betonkeverőben megkeverhető adag [kg/keverék]
Cement	321,1		321,1	321,1/1,1= =291,91	1,25*291,91= =364,88
Víz	183,0		183,0-47,4-7,8= =127,8	127,8/1,1= =116,18	1,25*116,18= =145,22
Finom frakció	1127,9	1127,9*0,042= =47,4	1127,9+47,4= =1175,3	1175,3/1,1= =1068,45	1,25*1068,45= =1335,56
Durva frakció	709,1	709,1*0,011= =7,8	709,1+7,8= =716,9	716,9/1,1= =651,73	1,25*651,73= =814,66
Összesen	* 2341,1		* 2341,1	2128,3 és ellenőrizve: 2341,1/1,1= =2128,3	2660,3 és ellenőrizve: 1,25*2128,3= =2660,4

* A friss beton testsűrűsége: 2341,1 kg/m^3

A számítás rész- és végeredményei: **A beton jele: C20/25 - XC1 - 24/K**

Számított adatok						
x	**x_0**	**m_0**	**$c = M_c$**	**α**	**$v = M_v$**	**V_a**
Vízcement-tényező	Redukált víz-cementtényező	Ellenőrző modulus	Cementtart. [kg/m^3]	Finom frakció részaránya	Vízadagolás [kg/m^3]	Adalékanyag tárf., [liter/m^3]
0,570	0,456	6,77	321,1	0,614	183,0	701,4

Számított adatok					
M_a	**$M_{a,finom}$**	**$M_{a,durva}$**	Vízmennyiség az	**Hom. kavics víztartalma miatt korr.**	
Adalékanyag tart., [kg/m^3]	Finom frakció tart., [kg/m^3]	Durva frakció tart., [kg/m^3]	adalékanyagban [kg/m^3]	**Korr. M_v** [kg/m^3]	**Korr. $M_{a,finom}$** [kg/m^3]	**Korr. $M_{a,durva}$** [kg/m^3]
1837,0	1127,9	709,1	55,2	127,8	1175,3	716,9

Számított adatok						
Frissbeton	**A keverés adagjai**					
testsűrűsége	**c_{adag}**	**v_{adag}**	**Finom fr.$_{adag}$**	**Durva fr.$_{adag}$**	**Beton$_{adag}$**	
[kg/m^3]	[kg/keverés]	[kg/keverés]	[kg/keverés]	[kg/keverés]	[kg/keverés]	
2341,1	364,9	145,2	1335,6	814,7	2660,4	

Betontervezési gyakorló példa

„Szorgalmi feladat”

A betontervezési gyakorló példa „első megoldása” helyes, de nem feltétlenül cement-takarékos eredményre vezetett. Vizsgáljuk meg, hogy a gyakorló példa „első megoldásában” szereplő C20/25 - 24/K jelű beton elkészíthető-e kevesebb, mint a hivatkozott példában eredményül kapott 321,1 kg/m^3 cementtel, és ha igen, akkor a cement-takarékos megoldásnak melyek a feltételei.

A *Bolomey-Palotás-féle* betontervezési módszer szerint a finomsági modulus legnagyobb ***(m_{max})*** - tudvalevőleg legkisebb cementtartalmat ***(c_{min})*** igénylő - értéke: $m_{max} = 1{,}07 * m_0$. Ezt a feltételt a finomsági modulus összefüggésébe helyettesítve:

$$m_{\max} = 11 - (x_0 - 0{,}1) * \frac{c_{\min}}{23} = 1{,}07 * m_0$$

majd abból az m_0-t kifejezve, és azt egyenlővé téve az m_0 ellenőrző finomsági modulus összefüggésének (lásd az 1. sz. gyakorló példát) jobboldalával (amelybe $c = c_{min}$ írandó), és az egyenletet c_{min}-re rendezve azt kapjuk, hogy

$$c_{\min} = \frac{198{,}858 - 65{,}4626 * \lg d_{\max}}{x_0 - 0{,}031092}$$

ami a legkisebb cement mennyiség értéke. Példánk szerint:

$$c_{\min} = \frac{198{,}858 - 65{,}4626 * \lg 24}{0{,}456 - 0{,}031092} = \frac{108{,}5058}{0{,}4249} = 255{,}4 \qquad [kg / beton \quad m^3]$$

Kiszámítjuk a kapott legkisebb cement mennyiséghez (c_{min}) tartozó legnagyobb finomsági modulust:

$$m_{\max} = 11 - (x_0 - 0{,}1) * \frac{c_{\min}}{23} = 11 - (0{,}456 - 0{,}1) * \frac{255{,}4}{23} = 11 - 3{,}953 = 7{,}05$$

Ez az eredmény megfelel, mert a $d_{max} = 24$ mm legnagyobb szemnagysághoz tartozó - megengedett legnagyobb finomsági modulusú - *A* határgörbe finomsági modulusa $m_{24,A} = 7{,}13$, azaz

$$7{,}05 = m_{\max} < m_{24,A} = 7{,}13$$

és az m_0 ellenőrző finomsági modulus:

$$m_0 = 2{,}66 * \lg d_{\max} + 2{,}2 + 0{,}0028 * c_{\min} =$$
$$= 2{,}66 * \lg 24 + 2{,}2 + 0{,}0028 * 255{,}4 = 3{,}671 + 2{,}2 + 0{,}715 = 6{,}59$$

továbbá az ellenőrzés:

$$5{,}865 = 0{,}89 * 6{,}59 = 0{,}89 * m_0 \le m_{\max} = 7{,}05 \le 1{,}07 * m_0 = 1{,}07 * 6{,}59 = 7{,}051$$

tehát az összetartozó m_{max} legnagyobb finomsági modulus és c_{min} legkisebb cementtartalom értéke megfelel.

A C20/25 - 24/K jelű beton tehát előállítható az eredetileg számítottnál („első megoldás”) kevesebb CEM 42,5 minőségű cementtel is, de ennek az a feltétele, hogy az adalékanyag finomsági modulusát $m = 6{,}03$ értékről $m_{max} = 7{,}05$ értékre kell növelni.

A cement megtakarításnak példánk esetén más ára is van. Nevezetesen az, hogy $c_{min} = 255{,}4 < 260{,}0$ kg/m^3, és ezért a betonunk az eredeti *XC1* környezeti (kitéti) osztály helyett csak az „*X0v(H)*” környezeti osztályba sorolható be.

A számítás eredménye tehát az, hogy a betont **CEM 42,5 minőségű cementtel** készítve, a beton jele:

A cement-takarékos beton jele: C20/25 - X0v(H) - 24/K

Ha azt akarjuk, hogy a betonunk környezeti (kitéti) osztálya továbbra is *XC1* legyen, akkor erre két lehetőségünk nyílik:

- vagy ***c = 260,0 kg/m³*** adagolású ***CEM 42,5*** minőségű cementtel, és ehhez a cement mennyiséghez tartozó ***m = 6,98*** finomsági modulusú adalékanyaggal készítjük el a betont (ami az előbbi példa adataihoz képest nem egy jelentős eltérés, de más esetben számottevő is lehet);
- vagy kisebb szilárdságú, azaz ***CEM 32,5*** minőségű cement alkalmazásával növeljük a ***C20/25 - 24/K*** jelű beton cementtartalmát, ha ennek van értelme.

Most nézzünk ez utóbbira példát:

Betontervezési gyakorló példa

„Hangyaszorgalmi feladat”

Ha a ***C20/25 - 24/K*** jelű betont ***CEM 32,5*** minőségű cementtel készítjük, akkor (és tessék utána számolni)

a víz-cementtényező értéke:	$x = 0,458$
a redukált víz-cementtényező értéke:	$x_0 = 0,352$
a megengedett legkisebb cementtartalom:	$c_{min} = 338,1\ kg/m^3$
a hozzá tartozó megengedett legnagyobb finomsági modulus:	$m_{max} = 7,30$
amelynek mértékadó értéke $m_{24,A} = 7,13$ miatt:	$m_{mértékadó} = 7,13$
az $m_{mértékadó}$ finomsági modulushoz tartozó mértékadó cementtartalom:	$c_{mértékadó} = 353,2\ kg/m^3$
a $c_{mértékadó}$ cementtartalomhoz tartozó ellenőrző finomsági modulus:	$m_{0,\ mértékadó} = 6,86$
és az ellenőrzés:	$6,11 = 0,89*m_{0,\ mértékadó} < m_{mértékadó} = 7,13 < 1,07*m_{0,\ mértékaó} = 7,34$

tehát a megoldás elvileg megfelel.

A ***C20/25 - 24/K*** jelű beton elkészítésének alternatívái tehát a következők:

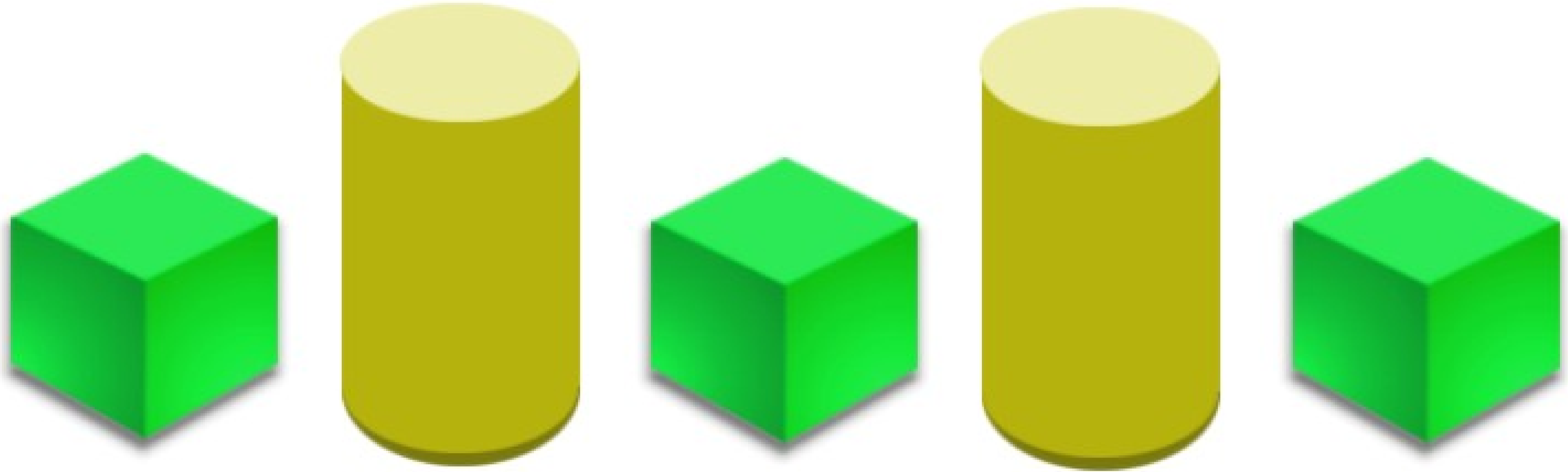
Gyakorló példa	Cement minőség	Cement mennyiség [kg/m³]	Környezeti (kitéti) osztály
„Első megoldás”	CEM 42,5	321,1	XC1
„Szorgalmi feladat”	**CEM 42,5**	255,4 **260,0**	X0 vasbeton **XC1**
„Hangyaszorgalmi feladat”	CEM 32,5	353,2	XC1

Minthogy az ***MSZ EN 206-1:2002*** európai szabvány szerint a ***C20/25*** nyomószilárdsági osztályú betonból a cementtartalom ***260,0 kg/m³*** érték fölé növelésével sem lehet az ***XC1*** környezeti (kitéti) osztályúnál jobb betont előállítani, ezért cement minőség csökkentéssel a cementtartalomnak e határérték fölé való jelentős emelését időjárási vagy gazdasági okokon kívül más nem indokolhatja.

Annak előrebocsátásával, hogy más példák (más alap adatok) esetén más számarányok alakulnak ki és más következtetések vonhatók le, a **„szorgalmi” és a „hangyaszorgalmi” feladatot** egybevetve jó megoldásának azt a beton összetételt tekintjük, amely

legalább ***260 kg/m³*** adagolású ***CEM 42,5*** minőségű cementtel készül, és amelynek jele: **C20/25 - XC1 - 24/K**

Mindez természetesen nem jelenti azt, hogy a gyakorló példa „első megoldása”, mint egyetlen jó megoldás a maga alap adataival, ne lenne helyes. Csak azt jelenti, hogy a gyakorló példa megadott alap adatai „első megoldásban” azaz első közelítésben nem eredményeztek optimális beton összetételt és minőséget.



Zúzottkő vagy zúzottbeton (betontörmelék) adalékanyagú beton tervezése a Bolomey-Palotás féle képletek alapján, az MSZ EN 206-1:2002 szabvány követelményeinek figyelembevételével

MEGJEGYZÉS: A hivatkozott MSZ EN 206-1 szabványt 2002. évben (MSZ EN 206-1:2002), és annak MSZ 4798-1 jelzetű nemzeti alkalmazási dokumentumát 2004. évben (MSZ 4798-1:2004) emelték érvényre.

Megjegyzés: A zúzottbeton (újrahasznosításra kerülő, tört és osztályozott bontott beton, betontörmelék) adalékanyagú beton tervezése nagy hasonlatosságot mutat a zúzottkőbeton tervezésével, ezért ezek együtt tárgyalhatók, és az egyszerűség kedvéért, csak ezen a helyen, egységesen zúzottkőbetonnak, az adalékanyag zúzottkőnek nevezhető. A zúzottbeton adalékanyagú beton tervezésével kapcsolatos további megjegyzések a tervezési módszer ismertetésének végén találhatók.

1. A megtervezendő beton MSZ EN 206-1:2001 szabvány szerinti nyomószilárdsági osztályának megfelelő, végig vízben tárolt, vizesen vizsgált, 150 mm méretű próbakockán, 28 napos korban értelmezett $R_k=R_{k15,nom}(=) f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ nyomószilárdsági minősítési értékéből fel kell venni a megtervezendő beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti, vegyesen tárolt, 200 mm méretű próbakockán értelmezett, 28 napos nyomószilárdságának névleges $R_{m200,\,nom}$ átlag értékét, amely a Bolomey-Palotás-féle betontervezés alapadata. Ehhez két módszer is ajánlható:

1.1. Vagy felvesszük az MSZ 4720-2:1980 szabvány szerint a "t" Student tényező és az "s" szórás értékét, és az (1.1) összefüggés alkalmazásával kiszámítjuk az $R_{m200,\,nom}$ névleges átlagértéket:

$$R_{m200,nom} = 1{,}087 * 0{,}94 * R_{m150,nom} =$$

$$= 1{,}02178 * \left\{ 0{,}25 * \left[0{,}1027 * t * s + \sqrt{(0{,}1027 * t * s)^2 + 2{,}16 * t * s + 4 * R_{k150,nom}} \right]^2 \right\} =$$

$$= 0{,}255445 * \left[0{,}1027 * t * s + \sqrt{(0{,}1027 * t * s)^2 + 2{,}16 * t * s + 4 * R_{k150,nom}} \right]^2 \qquad (1.1)$$

Itt $1{,}087= R_{m,\,vegyesen}/ R_{m,\,víz\ alatt}$, azaz 1,087 az ugyanolyan méretű vegyesen és víz alatt tárolt próbakockák nyomószilárdságának hányadosa, és $0{,}94=R_{m200}/R_{m150}$, azaz 0,94 az ugyanolyan utókezelésű 200 mm és 150 mm méretű próbakockák nyomószilárdságának hányadosa.

1.2. Vagy a következő átszámítási táblázat alapján felvesszük a megtervezendő beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti, vegyesen tárolt, 200 mm méretű próbakockán értelmezett, 28 napos nyomószilárdságának névleges $R_{m200,\,nom}$ átlag értékét:

$$R_k = R_{k15,\,nom} = f_{ck,cyl}/f_{ck,cube} \rightarrow R_{m200,\,nom} \quad (1.2)$$

A beton nyomószilárdsági osztálya víz alatti tárolás esetén az MSZ EN 206-1:2001 szerint C $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$	A beton - a nyomószilárdsági osztálynak megfelelő, - átlagos nyomószilárdságának 200 mm méretű próbakockán értelmezett névleges tervezési értéke a Bolomey-Palotás-féle tervezési módszer esetén $R_{m200,\,nom}$ N/mm^2
(C 4/5, nem szabványos)	(8)
C8/10	14
C12/15	20
C16/20	26
C20/25	32
C25/30	38
C30/37	46 **47***
C35/45	55 **57***
C40/50	61 **64***
Megjegyzés:	Az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD N2. táblázatának tárgyalása során a pirossal írt értékeket fogadták el.

(A táblázat értékeinek magyarázata a "A normál és nehéz betonok nyomószilárdsági osztályai, küszöb és átlag értékei" című dolgozatban található.)

Eszerint a tervezett beton akkor fogja az MSZ EN 206-1:2001 szabvány szerinti C $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ nyomószilárdsági osztályt elérni, ha összetételének tervezése során a víz-cementtényezőt úgy számítjuk ki, hogy a Bolomey-Palotás-féle $x=f(R_{m200})$ összefüggésbe az R_{m200} helyébe vagy az (1.1) szerint kiszámított, vagy az (1.2) alatti táblázatból vett $R_{m200,\,nom}$ értéket helyettesítjük.

Az $R_{m200,\,nom}$ értékek homokos kavics adalékanyag esetére vonatkoznak, de elfogadhatók az MSZ 18291:1978 szerinti "A", illetve az ÚT 2-3.601:1998 szerinti "AA" (újabban az ÚT 2-3.601:2005 szerint „A") kőzetfizikai csoportú zúzottkövek esetén is. Ha azonban a zúzottkő kisebb szilárdságú (amit a nagyobb aprózódási veszteség fejez ki), akkor a kőzetfizikai csoport függvényében a tervezési szilárdságot meg kell növelni:

$$R_{m200,\,nom}{}' = \zeta * R_{m200,\,nom} \quad (1.3)$$

A nyomószilárdság tervezési értékének ζ szorzóját az $f_{ck,cube}$ küszöbérték függvényében a "D" illetve "DD" kőzetfizikai csoportú zúzottkövek esetére írtuk fel függvény alakban:

$$\zeta = 1{,}7343 - 0{,}1477 * \ln(f_{ck,cube}) \quad (1.4)$$

Magyarázat: A ζ regressziós függvény elfogadható közelítéssel az egymást követő nyomószilárdsági osztályok $f_{ck,cube}$ minősítési értékei hányadosaira (például: 45/37=1,22 37/30=1,23; 30/25=1,20; 25/20=1,25; 20/15=1,33) illeszkedik, tehát "D" vagy "DD" kőzetfizikai csoportú zúzottkő adalékanyag esetén a ténylegesnél eggyel nagyobb nyomószilárdsági osztályra tervezünk.

A "B" illetve "BB", valamint a "C" illetve "CC" kőzetfizikai csoportokhoz tartozó ζ szorzókat az "A" illetve "AA" és a "D" illetve "DD" kőzetfizikai csoportok ζ értékei közé való lineáris interpolálással határoztuk meg:

A beton nyomószilárdsági osztálya víz alatti tárolás esetén az MSZ EN 206-1:2001 szerint C $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$	Az átlagos, 28 napos nyomószilárdság névleges, $R_{m200, nom}$ tervezési értékének kiszámításához alkalmazott ζ szorzó, a zúzottkő adalékanyag MSZ 18291:1978 és ÚT 2-3.601:1998 szerinti mértékadó kőzetfizikai csoportja függvényében							
	"A" ill. "AA"		"B" ill. "BB"		"C" ill. "CC"		"D" ill. "DD"	
(C4/5)	1,00	•	1,17	•	1,33	•	1,50	•
C8/10	1,00	•	1,13	•	1,26	•	1,39	•
C12/15	1,00	•	1,11	•	1,22	•	1,33	•••
C16/20	1,00	•	1,10	•	1,19	•	1,29	•••
C20/25	1,00	•	1,09	•	1,17	•••	1,26	••••
C25/30	1,00	•	1,08	•	1,15	•••	1,23	••••
C30/37	1,00	•	1,07	•••	1,13	••••	1,20	×
C35/45	1,00	•	1,06	•••	1,11	••••	1,17	×
C40/50	1,00	•	1,05	••	1,10	×	1,16	×
C45/55	1,00	•	1,05	••	1,09	×	1,14	×
C50/60	1,00	•	1,04	••	1,09	×	1,13	×
C55/67	1,00	•	1,04	••	1,08	×	1,11	×
Megjegyzés: A kőzetfizikai csoportok két betűvel („AA", „BB", „CC", „DD") való jelölése 2005. év végén megszűnt, és az új jelölés 2006. január 1. óta egy betűvel („A", „B", „C", „D") történik.								

A táblázatban a zúzottkő alkalmazására ajánlás is található [Kausay Tibor: A zúzottkő betonok és a különleges betonok tulajdonságai. II. rész. Szabványosítás. 1983. 8. szám. 236-240 p.].

Jelmagyarázat:

• Korlátozás nélkül alkalmazható.

•• Alkalmazása mennyiségétől függetlenül akkor ajánlott, ha a zúzottkő karbonátos.

••• Alkalmazása mennyiségétől függetlenül akkor ajánlott, ha a zúzottkő karbonátos, vagy akkor, ha nem karbonátos, de részaránya az adalékanyagban ≤ 30 tömeg%.

•••• Alkalmazása akkor ajánlott, ha a zúzottkő karbonátos, és részaránya az adalékanyagban ≤ 30 tömeg%.

× Alkalmazása nem ajánlott.

Például, ha a C25/30 nyomószilárdsági osztályú beton zúzottkő adalékanyaga "B" kőzetfizikai csoportú, akkor ahhoz, hogy a beton próbatestek elérjék az $R_{m\Phi} = 33,3$ N/mm^2, illetve az $R_{m150} = 40,0$ N/mm^2, vagy az $R_{m200} = 37,3$ N/mm^2 nyomószilárdsági átlag értéket, a zúzottkőbetont $R_{m200,\ nom}' = \zeta * R_{m200,\ nom} = 1,08*38 = 41,0$ N/mm^2 névleges, átlagos nyomószilárdságra kell tervezni. (A számértékek tekintetében lásd a "A normál és nehéz betonok nyomószilárdsági osztályai, küszöb és átlag értékei" című dolgozat táblázatát.)

2. A megtervezendő beton x víz-cementtényezőjét a 200 mm méretű próbakockán értelmezett, (1.3) alatti névleges tervezési $R_{m200,\ nom}'$ átlagos nyomószilárdságból számítjuk ki:

$$x = \frac{1}{\frac{R_{m200,\ nom}'}{A} + 0,3} \qquad (2)$$

ahol "A" a cement minőségének függvénye:

Cementminőség		A
MSZ EN 197-1:2000	**MSZ 4702-2:1974**	
CEM 52,5	C 550	27,5
CEM 42,5	C 450	22,0
CEM 32,5	C 350	17,0
	C 250	12,5

3. Következő lépés az x_0 redukált víz-cementtényező kiszámítása:

$$x_0 = \frac{x}{h * h_0 * h_1} \qquad (3)$$

ahol a h, h_0, h_1 osztók értéke a konzisztencia, a cement minősége és az adalékanyag legnagyobb szemnagysága függvényében a következő:

Konzisztencia	**h**	**Cement-minőség**	**h_0**	**d_{max} [mm]**	**h_1**
Alig földnedves	0,85	CEM 52,5	0,98	8	1,07
Földnedves	1,00	CEM 42,5	1,00	12	1,04
Kissé képlékeny	1,15	CEM 32,5	1,04	16	1,01
Képlékeny	1,25	C 250	1,07	24	1,00
Folyós	1,35			32	0,98
Önthető	1,45			63	0,96

4. Keressük meg a c cement mennyiség és a zúzottkő adalékanyag m finomsági modulusa összetartozó értékeit a következő összefüggésből:

$$x_0 = 0{,}1 + \frac{25}{c} * (12 - m) \qquad (4)$$

A (4) összefüggést rendezzük annak megfelelően, hogy a feladatot melyik adat felvételével kívánjuk megoldani:

- Ha a c cement mennyiségből indulunk ki, és azt tekintjük független változónak, akkor:

$$m = 12 - (x_0 - 0{,}1) * \frac{c}{25} \qquad (5)$$

- Ha a zúzottkő adalékanyag m finomsági modulusából indulunk ki, és azt tekintjük független változónak, akkor:

$$c = \frac{25}{x_0 - 0{,}1} * (12 - m) \qquad (6)$$

A c - m értékpár nem vehet fel tetszőleges értéket, mert kell, hogy a következő korlátozó feltételek is teljesüljenek:

$$m_0 = 2{,}66 * \lg d_{max} + 2{,}2 + 0{,}0028 * c \qquad (7)$$

$$és \qquad 0{,}89 * m_0 \le m \le 1{,}07 * m_0 \qquad (8)$$

Az összetartozó és megfelelő c - m értékpár próbálgatással található meg. Értéke akkor a legkedvezőbb, ha a c cement mennyiség minimális, illetve, ha az m finomsági modulus maximális nagyságú.

Ennek a (7) és (8) összefüggéseken kívül további korlátjai is vannak:

1. Egyrészt az MSZ EN 206-1:2002 NAD (2004) európai szabvány és nemzeti alkalmazási dokumentum a szerkezet környezeti és különleges igénybevételi hatásainak függvényében megadja a tervezendő beton megengedett legnagyobb víz-cementtényezőjének értékét, az adagolandó cement mennyiség megkövetelt legkisebb értékét és a beton alkalmazandó legkisebb nyomószilárdsági osztályának jelét. Ezeket a feltételeket összefoglaló dolgozatot erre a mondatra kattintva olvashatja el.
2. Másrészt a tervezett adalékanyag szemmegoszlási görbéjének az MSZ EN 206-1:2002 NAD (2004) európai szabvány és nemzeti alkalmazási dokumentum szerinti szemmegoszlási határgörbék között kell elhelyezkednie. Következésképpen az m finomsági modulusnak I. osztályú szemmegoszlás esetén az A és a B határgörbék finomsági modulusa, II. osztályú szemmegoszlás esetén a B és a C határgörbék finomsági modulusa közé kell esnie. Ebben a tekintetben bizonyos könnyítést jelent az MSZ EN 12620:2002 beton-adalékanyag termék szabvány szemmegoszlási követelményeinek figyelembevétele. A szemmegoszlási határgörbéket illetve határértékeket és a határgörbék finomsági modulusainak értékeit erre a mondatra kattintva tekintheti meg.

5. Biztosan megfelelő, próbálgatás nélkül kiszámítható c_{min} legkisebb, $c_{közepes}$ közepes, c_{max} legnagyobb c cement mennyiség nyerhető akkor, ha feltételezzük, hogy

$$m = 1{,}07 * m_0 \quad vagy \quad m = m_0 \quad vagy \quad m = 0{,}89 * m_0 \tag{9}$$

Ezeket a feltételeket rendre behelyettesítve az (5) összefüggés bal oldalába, egyidejűleg a jobb oldali c helyébe rendre c_{min}-ot, $c_{közepes}$-t, illetve c_{max}-ot írva, m_0-ra kapunk összefüggéseket. Ezen összefüggések jobb oldalát egyenlővé téve a (7) összefüggés jobb oldalával, azokból az m_0 kiejthető. Ezután ezekből kifejezve a megfelelő c cement mennyiséget, rendre azt kapjuk, hogy:

$$c_{min} = \frac{241{,}151 - 71{,}155 * \lg d_{max}}{x_0 - 0{,}0255} \tag{10.1}$$

$$c_{közepes} = \frac{245{,}0 - 66{,}5 * \lg d_{max}}{x_0 - 0{,}03} \tag{10.2}$$

$$c_{max} = \frac{251{,}05 - 59{,}185 * \lg d_{max}}{x_0 - 0{,}0377} \qquad (10.3)$$

A (10.1), (10.2), (10.3) összefüggések jobb oldalán csak ismert mennyiségek állnak, ezért azok bármelyikéből az éppen keresett c cement mennyiség minden nehézség, próbálgatás nélkül kiszámítható.

6. Ezután kiszámítjuk a (10) összefüggések valamelyikének segítségével meghatározott c cement mennyiséghez tartozó m finomsági modulus értékét az (5) összefüggés felhasználásával.

A betontervezés célja általában a megengedett legkisebb cement mennyiség, azaz a c_{min} kiszámítása, amelyhez tartozó finomsági modulus a megengedett legnagyobb, azaz az m_{max} érték lesz.

7. A kapott c_{min} - m_{max} értékpár a betontervezés végeredménye, ha a c cement mennyiség nem kevesebb, mint a 4. pont szerint megkövetelt legkisebb cementtartalom, és a **zúzottkő** adalékanyag m finomsági modulusa a megfelelő két szemeloszlási határgörbének az ugyancsak a 4. pontban megadott finomsági modulusai közé esik.

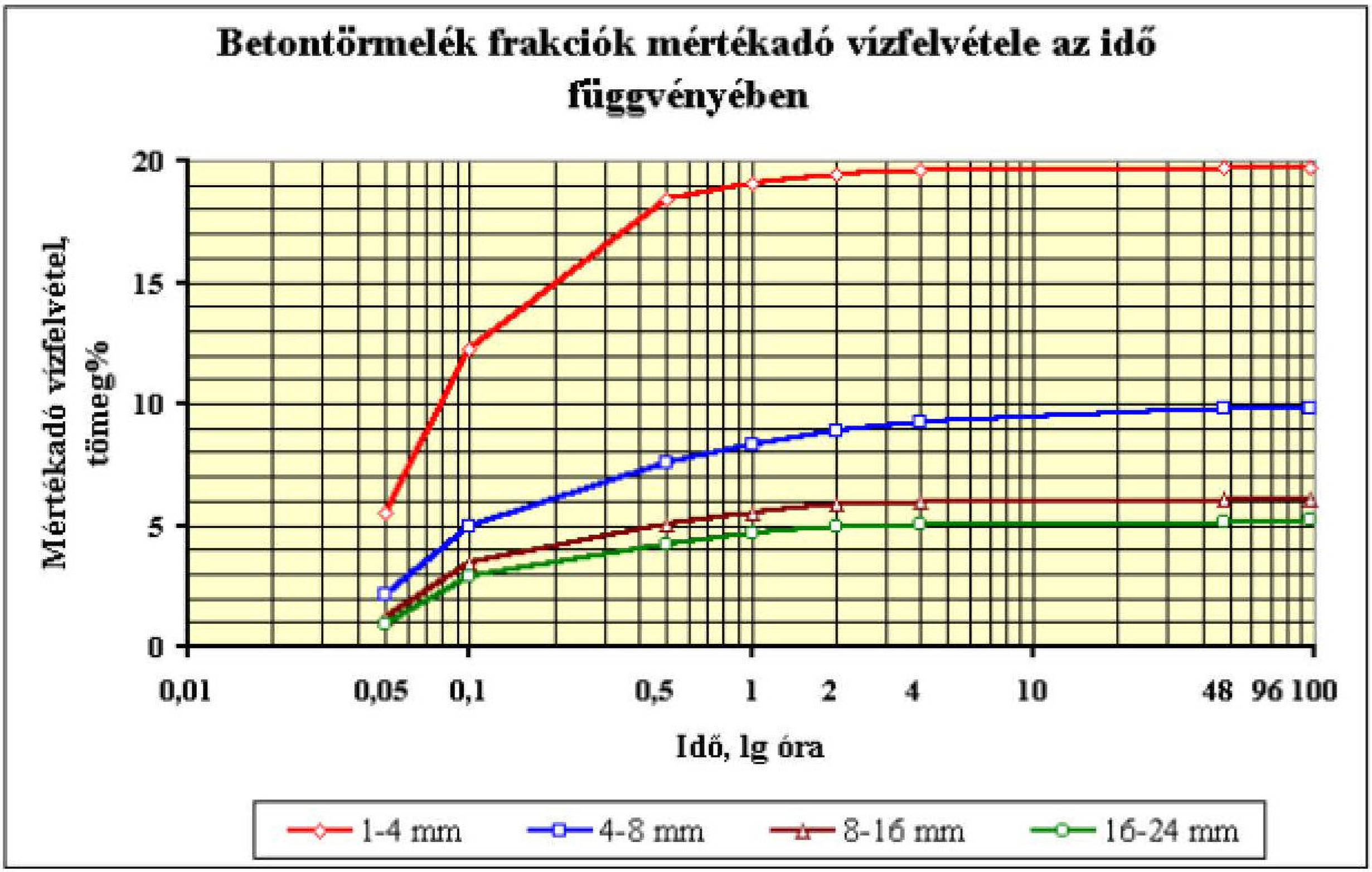
Ezeknek az ellenőrzéseknek az elmulasztása hibákra vezethet.

8. A betontervezés végeztével kiszámítjuk a betonkeverék összetételét, és próbakeverést végezve, a frissbetont és a készített próbatesteket vizsgálva ellenőrizzük a betontervezés eredményeinek gyakorlati megfelelőségét.

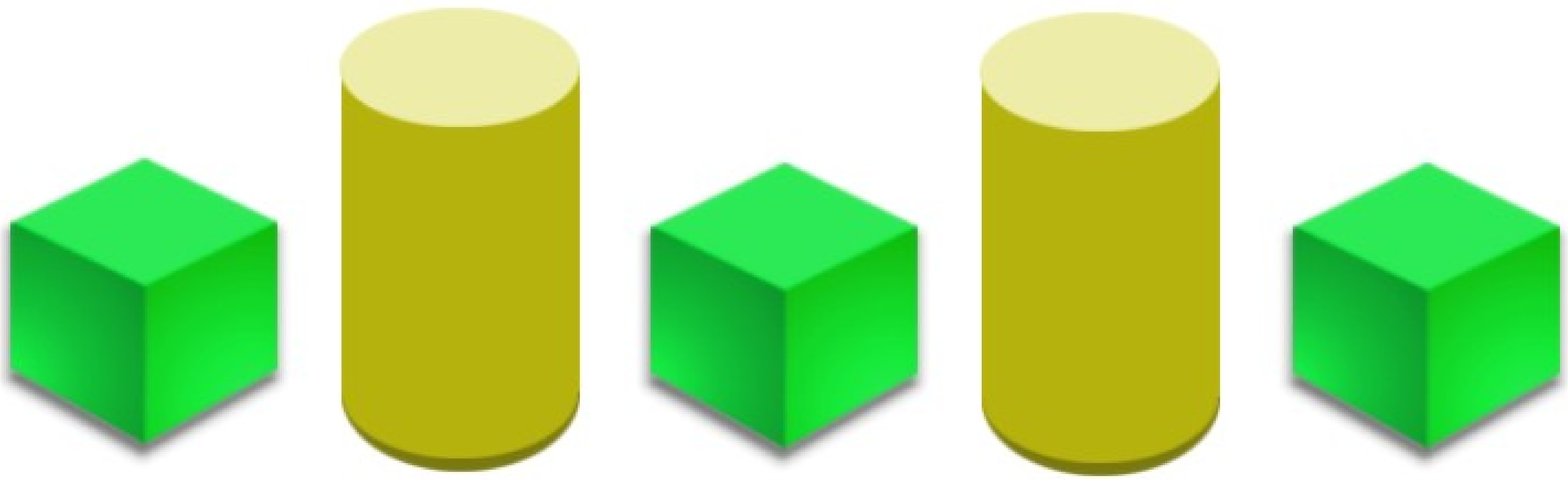
9. Zúzottkőbeton (és zúzottbeton adalékadalékanyagú beton) tervezéséről és készítéséről lévén szó, a frissbeton - például a zúzottkő szemalakja és érdessége miatt - esetleg nehezen dolgozható be, ilyenkor a konzisztencia beállításához feltétlenül célszerű változatlan vízadagolás és víz-cementtényező mellett képlékenyítő vagy folyósító adalékszert használni.

A zúzottbeton (újrahasznosításra kerülő, tört és osztályozott bontott beton, betontörmelék) adalékanyagú beton tervezésével kapcsolatos további megjegyzések

- Az építmények bontásából származó tört, osztályozott adalékanyag - főképpen a betontörmelék, - önszilárdságának változatossága, szemalakja, felületi érdessége, vízfelvétele folytán sokkal jobban hasonlít a zúzottkőhöz, mint a kavicshoz, illetve homokos kavicshoz. Minthogy általában a betontervezésre, illetve kifejezetten az újrahasznosított adalékanyaggal készülő betonok tervezésére kidolgozott nemzeti vagy európai szabvány nincs, és erre vonatkozó korábbi módszer sem ismeretes, ezért a zúzottbeton (betontörmelék) adalékanyagú betonok tervezését lényegében a Bolomey-Palotás-féle betontervezési képletek alkalmazásával, a zúzottkőbetonok tervezési módszere szerint ajánlott elvégezni.
- A zúzottbeton adalékanyag vízfelvétele jelentős lehet, ezért az ilyen adalékanyagú beton vízadagolását (még a képlékenyítő vagy folyósító adalékszer bekeverése előtt) a rövid idejű mértékadó vízfelvétel értékével tanácsos megnövelni. Ilyen esetben a vízadagolás a víz-cementtényező és a cementtartalom szorzatából adódó érték (alap keverővíz) és a mértékadó rövid idejű vízfelvételből számított érték (többlet keverővíz) összege.
- Rövid idejű mértékadó vízfelvétel a mértékadó vízfelvételnek az a része, amely a víznek a mértékadó víztartalmú adalékanyaghoz való hozzáadásától a beton bedolgozásáig tartó időre esik. Értékét első közelítésben az 5 vagy 10 perces rövid idejű mértékadó vízfelvételből határozhatjuk meg.
- Mértékadó vízfelvétel a kiszárított állapotú adalékanyag vízfelvételének és mértékadó víztartalmának különbsége. Kísérleteink szerint a zúzottbeton (betontörmelék) adalékanyag frakciók mértékadó vízfelvétele például a következő:



- <u>Mértékadó víztartalom</u> az adalékanyag víztartalma a betonba való keverést közvetlenül megelőző időben.
- Az Épületfenntartási K+F Alapítvány, illetve a Kiss és Társa Budafoki Építőipari és Szolgáltató Kft megbízásából 2001 és 2003 között foglalkoztunk az építési törmelékek beton-adalékanyagként való hasznosításának feltételeivel. A kísérleti gyártáshoz alkalmazott betont a fentiek alapján terveztük. <u>E munka tapasztalatairól külön web-oldalon számolunk be.</u> Ezek a tapasztalatok beépültek a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata által kiadott <u>„Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával”</u> című, BV-MI 01:2005 (H) jelű Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelvbe.

Frissen kizsaluzott, kísérleti, osztott zsaluzóelemek (50*20*25 cm) betontörmelék adalékanyagú betonból

Frissen kizsaluzott, kísérleti járdalapok (40*40*6 cm) betontörmelék adalékanyagú betonból